

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

El concepto de probabilidad.

Conferencia dada en el Ateneo de Madrid por D. Antonio Prieto, Ingeniero-Profesor de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos.

Señores:

Es costumbre cargar á la cuenta del azar las partidas sin dendor conocido; en el caso presente es particularmente justo culpar al azar de que el que tiene la honra de dirigiros la palabra, haya sido encargado de un curso de Cálculo de Probabilidades, materia ajena á sus aficiones, y los apuros (¿por qué negarlo?) pasados para organizar la primera lección son la materia de esta conferencia.

Esta dificultad de los principios no es exclusiva de la teoría del azar, si bien en ella es particularmente delicada; todas las ciencias tienen los principios difíciles, y buena parte de culpa de esta dificultad corresponde á los tratadistas, á los que tienen misión de exponer ó vulgarizar las ciencias, los cuales caen fácilmente en el error de sacrificar la materia á la forma. Hay en toda investigación científica lo que pudiéramos llamar la zona de ataque, la zona de elaboración y la zona de terminación; el afán de redondear el conjunto, hace ocultar lo esencial, que es la zona de ataque, presentando la ciencia como un conjunto de verdades muertas, clasificadas y almacenadas en nichos, como los cadáveres en un cementerio.

¡A cuántos ha conducido á estéril escepticismo este vicio de ocultar los manantiales de donde brotan vivas las verdades!

Tan general es el caso, que podemos aclarar el concepto, facilitando nuestra tarea con un ejemplo físico más tangible y sencillo que nos conducirá por analogía á donde debemos ir.

Este ejemplo va á ser la *Termometría*.

La temperatura es una sensación; nuestro tacto es capaz de percibir una modalidad de las propiedades térmicas de los cuerpos, y de aquí el concepto de la temperatura; sólo que este concepto no puede ser científico por ser subjetivo. Sólo es científico aquello sobre lo cual podemos pretender el consenso universal; lo discutible, lo personal no es científico; puede ser filosófico, y es muy importante hacer esta distinción entre la ciencia positiva y la filosofía, que no todos hacen á su debido tiempo, porque sólo lo científico es transmisible y acumulable, y en esto radica el progreso científico, porque dan lugar á que se confunda en la

mente del escéptico las cosas sobre las cuales el escepticismo es lícito con aquellas en que ni es lícito ni útil.

La temperatura, pues, como sensación que es, no puede ser un concepto científico; necesitaría para ello ser medible y formulable, y esto no puede conseguirse más que mediante un convenio que consiste en sustituir á la causa (temperatura) un efecto tangible (la dilatación).

Pero esta sustitución convencional no debemos olvidarla nunca. Todos habréis visto en los aparatos astronómicos unos hilos que dibujan sobre el cielo unos ejes coordenados, á que los astros se refieren; estos hilos son muy útiles á condición de que no creamos que están dibujados en el cielo; sólo están en el antejo, y debemos recordar que somos nosotros quienes los hemos puesto allí para nuestro uso.

Veamos las consecuencias de nuestro convenio: todos los cuerpos no se dilatan del mismo modo, lo que obliga á escoger uno cuya dilatación sea la norma para los demás; y si se toma como base el aire, es por la circunstancia de que los gases se dilatan sensiblemente del mismo modo y esto nos evita toda preocupación sobre la pureza del aire empleado.

Pero si luego olvidamos lo convenido, cuando nos digan que los gases se dilatan proporcionalmente á la temperatura, creemos haber arrancado á la Naturaleza su secreto: ¿cómo no se han de dilatar proporcionalmente á la temperatura si hemos llamado temperatura á la medida de esta dilatación? Aunque después al integrar nuevos elementos, en la teoría de los gases, el concepto de temperatura se amplíe, nunca debemos olvidar su carácter de convención si no queremos incurrir en petición de principio.

Este carácter de convención del concepto de temperatura lo encontramos aún en las aplicaciones más vulgares; ¿cuál es, por ejemplo, la temperatura del ambiente? Nunca dos termómetros distintos marcarán la misma temperatura; según su materia, su tamaño, su color, el pulimento de su superficie, sus propiedades higroscópicas, etc., etc., tendremos temperaturas distintas; ¿cuál es la del ambiente? Ninguna y todas; es preciso definir por un convenio las condiciones de la experiencia para obtener un dato que tenga algún valor.

Y si, olvidando esta serie de convenios, intentamos comparar este concepto de la temperatura del ambiente con el sensorial primitivo, caeremos en el error de los que criticaron la célebre frase «digan lo que quieran los termómetros», que, á pesar de los críticos, encerraba una gran verdad.

Hemos hablado antes de peticiones de principio, y vamos á

ver cómo en otro ejemplo sencillo la ponemos de manifiesto.

Todos conocéis las máquinas con que en los gabinetes de Física se demuestra experimentalmente la constancia de la aceleración de la gravedad; en estas máquinas se miden tiempos iguales por medio de las oscilaciones de un péndulo, partiendo de la base de que son iguales, sólo que esta igualdad (sólo aproximada) se demuestra luego fundándose en la constancia de la aceleración de la gravedad.

Y es que el vicio deductivo, el error de creer que la ciencia es más formal y sería deduciéndose lógicamente de un principio, lleva á ocultar que la base de toda nuestra Mecánica está en nuestra sensación, y que el oído es el que juzga de la igualdad de las oscilaciones del péndulo; de donde resulta que la Mecánica, como toda ciencia humana, está hecha á la medida de las sensaciones humanas, y que á otra humanidad con sensaciones diferentes correspondería otra ciencia completamente distinta. Nuestra ciencia está hecha por y para nosotros; ni tiene más base que nuestros sentidos, ni más alcance que nuestras necesidades.

Y he aquí ahora dónde está el peligro de la confusión entre la ciencia positiva y la filosofía científica; esas generalizaciones, más ó menos ingeniosas, que muchos toman como síntesis de ciencia pura, sólo son muchas veces producto de imaginaciones desviadas que no han tenido en cuenta que las verdades científicas sólo son tales dentro de las condiciones en que han tenido origen. Hace años era un dogma la sencillez de las leyes naturales que se expresaban siempre por ecuaciones de 1.º y 2.º grado; hoy no puede sostenerse este ideal; sabemos que las leyes naturales se expresan por funciones trascendentes y nuestras ecuaciones sólo son aproximaciones obtenidas, limitándonos á los primeros términos de los desarrollos en serie, sencillamente por impotencia, para ir más allá; querer extender la zona de aplicación de la ley así formulada, es lo mismo que extrapolar una fórmula empírica, operación que no debe inspirarnos la menor confianza.

Entre los mil ejemplos que pudieran citarse, bastará nombrar la generalización del teorema de la Entropía, aplicándolo al universo entero, cuyos límites son para nosotros inconcebibles, cuando este teorema ha sido establecido para un sistema limitado.

* * *

La *probabilidad* es un concepto subjetivo: nace de una sensación interna, que no es más que la expresión de una ignorancia incompleta y relativa; no puede ser, por consiguiente, un concepto científico. Los tratadistas pretenden partir de una definición, haciendo una teoría deductiva y formando una rama de las matemáticas, pero esta definición no debe poder hacerse sin incurrir en petición de principio, según hemos explicado antes.

La definición ordinaria se formula así: «Se llama probabilidad de un suceso al quebrado cuyo numerador es el número de casos favorables, y cuyo denominador es el número de casos posibles». D'Alembert hizo una objeción célebre á esta definición: como todo suceso puede ocurrir ó no ocurrir, pueden siempre contarse dos casos, uno de ellos favorable y el otro adverso, y así todas las probabilidades serían iguales á $\frac{1}{2}$. Sus opositores reconocieron que la definición, tal como la hemos formulado antes, era incompleta, y le añadieron lo siguiente: «es preciso que los casos posibles sean igualmente posibles ó igualmente verosímiles», y esto no es más que una gran hipocresía, porque, ó no significa nada preciso, ó significa que los casos son *igualmente probables*, y entonces el término definido entra dentro de la definición y queda manifiesta la petición de principio.

Otros han pretendido fundar la definición sobre la simetría;

una moneda arrojada al aire nos da el juego de *cara ó cruz*, y siendo la moneda simétrica, las dos probabilidades contrarias cuya suma ha de ser igual á la unidad, deben ser iguales entre sí el valer $\frac{1}{2}$. Con esta base se puede establecer toda la teoría de las probabilidades, pero esta base es tan deleznable como la anterior: si la moneda es absolutamente simétrica no podremos distinguir la cara de la cruz, y si la distinguimos no podremos ya asegurar la simetría absoluta y el razonamiento cae por su base. Sabido es que desde el punto de vista práctico sólo la experiencia del juego mismo nos asegura de la simetría *suficiente* de la moneda.

Necesitamos, pues, aquí también un convenio de origen experimental: este convenio es el que *utiliza y no formula* Bertrand en su célebre *Cálculo de Probabilidades*, partiendo siempre del estudio de la lotería de bolas, donde el concepto de simetría física se sustituye por una especie de *simetría fisiológica*. En una urna hay dos bolas que siendo distintas *á la vista* son completamente iguales *al tacto*. La probabilidad de sacar una de ellas de la urna es rigurosamente $\frac{1}{2}$, puesto que es igual para las dos y su suma es igual á la unidad.

Pero es claro que esta definición está hecha á la medida de la humanidad y evidentemente no puede ser de otro modo: si la humanidad tuviera el tacto tan sensible como la vista, la definición no tendría valor, y á medida que supongamos más perfectos los sentidos y más elevada la inteligencia, el formular otra será cada vez más difícil tendiendo á ser imposible en el límite, puesto que para una inteligencia infinita, la idea misma de azar sería absurda.

El Cálculo de Probabilidades no puede ser, pues, más que la teoría del juego de lotería de bolas y por extensión de los juegos asimilables á él; esta asimilación existe en los naipes, que son distintos por el derecho ó iguales por el revés *para nosotros*; pero no existe, por ejemplo, en los dados, cuya probabilidad no puede fundarse más que en una extensión un poco convencional de la simetría física incapaz de demostración, y esta es quizá la razón de que los naipes hayan desbancado á los dados en la preferencia de los jugadores, que habrían seguido así las inspiraciones de su instinto menos fácil de engañar en ocasiones que la inteligencia.

Este Cálculo de Probabilidades restringido tendría como corolario una serie de asimilaciones más ó menos legítimas, y un estudio muy interesante por cierto, de aquellos casos en que la asimilación no es del todo exacta ni del todo falsa, como ocurre con muchos problemas de estadística.

Una de las asimilaciones más discutibles es la relativa á los errores de observación y nos bastará una sola consideración para comprenderlo así: si la precisión de una medida crece como la raíz cuadrada del número de observaciones, cualquier instrumento, por poco preciso que sea, nos dará una medida tan precisa como deseamos con sólo aumentar el número de observaciones hasta donde sea preciso. La falsedad evidente de este aserto, que, sin embargo, es cierto cuando se trata de determinar la composición de una urna, de bolas, demuestra la independencia de ambos problemas y anula todas las consecuencias de la asimilación. Lo que hay es que se confunde ordinariamente en la teoría de los errores la parte que depende del Cálculo de Probabilidades con la que es independiente, y será conveniente en el porvenir separarlas.

No debemos terminar sin deducir de lo dicho alguna enseñanza. El vicio de la ciencia deductiva lleva, como hemos visto, á falsificar la base de nuestros conocimientos, y á consecuencia de esto á declarar falsamente cerrado el período de la investigación, cayendo inevitablemente en una decadencia comparable á

la de la Edad Media, de la que puede ser síntoma la afición á los comentarios y á las compilaciones forma medioeval de la literatura.

Recordad el mito de Anteo, que no podía ser vencido de ningún hombre porque recobraba sus perdidas fuerzas al sólo contacto de su madre la Tierra, y que fué muerto por Hércules ahogándolo entre sus brazos sin dejarle tocar al suelo. Mantengamos nuestro pie sobre nuestra madre la Tierra si no queremos morir á manos del bizantinismo que nos acecha, y así como Platón puso sobre la puerta de su escuela la Academia: «Nadie pase que no sea geómetra», pongamos nosotros: «Que no pase el que no sea nada más que geómetra».

He dicho.

Con nutridos aplausos acogió el numeroso auditorio tan interesante y original trabajo del distinguido Ingeniero de Caminos D. Antonio Prieto, á quien enviamos nuestra felicitación más sincera.

NOMOGRAMA PARA EL CÁLCULO DE CANALES

Nota presentada al Congreso de Valladolid de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias

POR

D. PABLO FERNÁNDEZ QUINTANA

Ingeniero de Caminos.

Una de las fórmulas más usadas para el cálculo de la cantidad de agua que discurre por un canal es la debida á M. Bazin:

$$U = \frac{87 \sqrt{RI}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

en la cual U es la velocidad media del agua en metros por segundo, I la pendiente longitudinal del canal, R el radio medio (cociente del área de la sección del canal por la longitud de la parte mojada del perímetro de dicha sección) en metros, y con la letra griega γ se designa un coeficiente variable con la naturaleza del terreno ó materiales que forman las paredes del canal, coeficiente cuyos valores son los siguientes:

Paredes muy lisas, cemento, madera acepillada....	0,06
Paredes lisas, alilería, ladrillo, tablas.....	0,16
Paredes de mampostería ó sillarejo.....	0,16
Paredes de tierra muy regulares, empedrados.....	0,85
Paredes de tierra ordinarias.....	1,30
Paredes de tierra con hierbas ó guijarros.....	1,75

La pendiente I del cauce es un número abstracto, la tangente del ángulo formado por el fondo del canal con la horizontal.

Para el cálculo de esa fórmula se han construido por diversos autores tablas y nomogramas. De éstos es el más conocido el que construyó el ilustre Ingeniero francés M. D'Ocagne, que se representa en la adjunta figura 1.^a, y en el cual hay que hacer, para resolver la ecuación, una doble alineación, como se indica con líneas de trazos en la misma figura para los valores correspondientes:

$$\gamma = 1,30; \quad R = 1,6 \quad I = 0,002; \quad U = 2,4.$$

Con objeto de evitar esa doble alineación, que es incómoda, y considerando que, en realidad, en cada problema es conocida la naturaleza de las paredes del canal, y, por tanto, es constante γ en cada caso práctico, se ha dibujado el nomograma que acompaña á esta nota, que en realidad no es un solo nomograma, sino

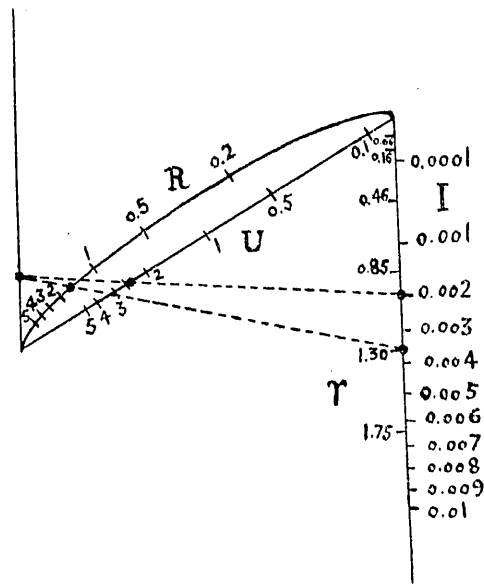


Fig. 1.^a

la superposición de seis, correspondientes á cada valor de γ . Se compone de tres líneas en zig-zag, que llevan en la vertical de la derecha la escala de los valores de la pendiente. En la línea inclinada del centro los valores de la velocidad media del agua en

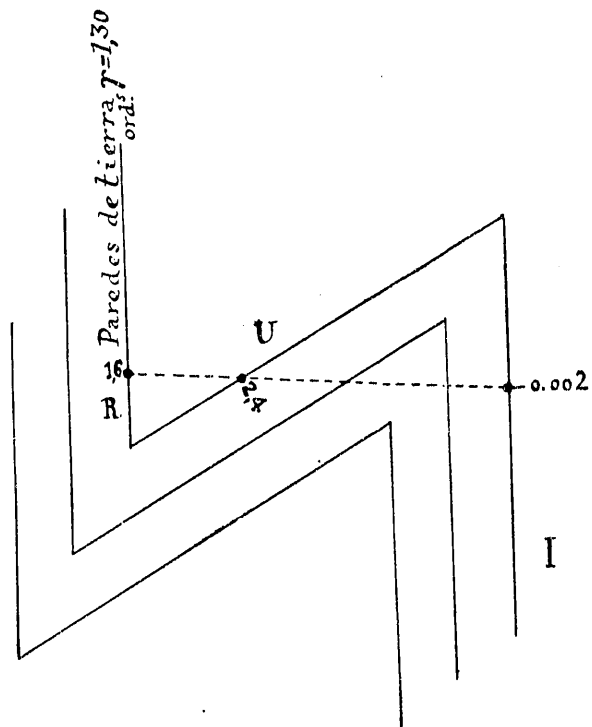


Fig. 2.^a

metros por segundo y en la vertical de la izquierda los valores del radio medio en metros. Hay seis escalas diferentes de valores del radio medio, según sea la naturaleza de las paredes.

Para usar el nomograma basta alinear con un hilo tirante, con el borde de una regla ó con una línea recta dibujada en papel, tela ó celuloide transparentes para obtener los valores co-